

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-101018

(P2003-101018A)

(43) 公開日 平成15年4月4日 (2003.4.4)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テ-マ-ト* (参考)

H 0 1 L 29/78
29/786

H 0 1 L 29/78

3 0 1 B 5 F 1 1 0

6 2 2 5 F 1 4 0

6 2 6 C

6 1 7 T

6 1 8 B

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-197871(P2002-197871)

(22) 出願日 平成14年7月5日 (2002.7.5)

(31) 優先権主張番号 2001-57176

(32) 優先日 平成13年9月17日 (2001.9.17)

(33) 優先権主張国 韓国 (K R)

(71) 出願人 596180076

韓国電子通信研究院

Electronics and Tel
ecommunications Res
earch Institute

大韓民国大田廣城市儒城區柯亭洞161

(72) 発明者 キム ヒュンタク

大韓民国 デジョン ユソング ジョンミ
ンドン エキスポ アパートメント 206
-1505

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外2名)

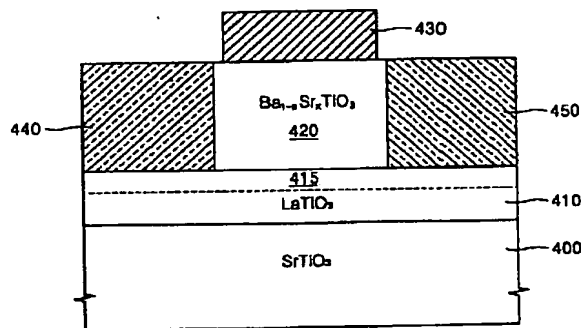
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界効果トランジスタ

(57) 【要約】

【課題】 急激な金属-絶縁体相転移を利用した電界効果トランジスタを提供すること。

【解決手段】 基板400上に配置されて充電ホールが流入される時に急激な金属-絶縁体相転移を生じるモット絶縁体410と、その上に配置されて一定の電圧が印加される時に充電ホールをモット絶縁体410に流入させる強誘電体膜420と、その上に配置されて強誘電体膜に一定の電圧を印加するゲート電極430と、モット絶縁体410の第1表面と電氣的に接続されるように形成されたソース電極440と、モット絶縁体410の第2表面と電氣的に接続されるように形成されたドレーン電極450とを備える。素子の集積度及びスイッチング速度を大幅に向上でき、膜厚を大きく薄くしなくても低電圧下で適切なドーピング用ホールを得ることができ、る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、

該基板上に配置されて充電ホールが流入される時に急激な金属-絶縁体相転移を生じるモット絶縁体と、
該モット絶縁体上に配置されて一定の電圧が印加される時に前記充電ホールを前記モット絶縁体に流入させる強誘電体膜と、

該強誘電体膜上に配置されて前記強誘電体膜に一定の電圧を印加するゲート電極と、

前記モット絶縁体の第1表面と電気的に接続されるように形成されたソース電極と、

前記モット絶縁体の第2表面と電気的に接続されるように形成されたドレーン電極とを備えることを特徴とする

電界効果トランジスタ。

【請求項2】 前記基板は、 SrTiO_3 基板であることとを特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項3】 前記モット絶縁体は、 LaTiO_3 、 YTiO_3 、または h-BaTiO_3 物質よりなることを特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項4】 前記強誘電体膜は、 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 物質よりなることを特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項5】 前記ソース電極及び前記ドレーン電極は、前記強誘電体膜によって互いに分離されることを特徴とする請求項1に記載の電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電界効果トランジスタに関し、より詳細には、急激な金属-絶縁体相転移を利用した電界効果トランジスタに関する。

【0002】

【従来の技術】現在、超小型及び超高速用スイッチングトランジスタとしてMOS電界効果トランジスタ(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor; MOSFET)が多用されている。MOSFETは、低いドレーン電圧下で線形的特性を示す2つのpn接合構造を基本構造として採用している。しかし、素子の集積度が高くなるにつれてチャンネル長が略50nm以下に短くなる場合、空乏層の増加によりキャリアの濃度が変わり、ゲートとチャンネルとの間を貫いて流れる電流が大いに増える。

【0003】最近、このような問題を解決するための手段として、ハバードの連続的な金属-絶縁体相転移(Mott-Hubbard metal-Insulator transition)、すなわち、2次相転移をするモット-ハバード絶縁体をチャンネル層に使用するモット電界効果トランジスタに関する研究が盛んになりつつある。モット電界効果トランジスタは、金属-絶縁

体相転移によってオン/オフ動作を行い、MOSFETとは異なって空乏層が存在しないことから、素子の集積度を大幅に高められるだけではなく、MOSFETよりも高速のスイッチング特性を示すと知られている。

【0004】モット-ハバード電界効果トランジスタは、連続的に生じる金属-絶縁体相転移を利用するため、最適の金属的特性が得られるまでキャリアとして利用される電荷を連続的に添加しなければならない。従って、添加する電荷が高濃度でなければならない。一般に、単位面積当り充電電荷量Nは、以下の式(1)のよう

に表わせる。

【0005】

【数1】

$$N = \frac{\epsilon}{ed} V_g \dots (1)$$

【0006】ここで、 ϵ はゲート絶縁体の誘電率、eは基本電荷、dはゲート絶縁体の厚さ、そして V_g はゲート電圧を各々表わす。

【0007】例えば、モット-ハバード絶縁体として分類される物質の一つである La_2CuO_4 の場合、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ にホールを添加すれば、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO)の特性が示され、 $x=0.15$ (15%)で最高のホールキャリアを有する金属となる。ここで、添加されたホールはキャリアとなる。通常、 $x=0.15$ は高濃度であるため、N値が大きくなればゲート絶縁体の誘電率が大きくなるか、絶縁体が薄くなるか、それともゲート電圧が大きくならなければならない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、誘電率があまりにも大きくなれば、高速スイッチング動作下で誘電体の疲労特性が急激に悪くなり、その結果、トランジスタの寿命が短縮される。また、工程上の限界によって絶縁体を薄めるには困難がある。さらに、ゲート電圧が大きくなる場合、電力消費が増えて低電力用として使用し難いという問題がある。

【0009】本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、低濃度のホールを添加しても最適の金属的特性が得られるように急激な金属-絶縁体相転移を利用した電界効果トランジスタを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の電界効果トランジスタは、このような目的を達成するために、基板と、該基板上に配置されて充電ホールが流入される時に急激な金属-絶縁体相転移を生じるモット絶縁体と、該モット絶縁体上に配置されて一定の電圧が印加される時に前記充電ホールを前記モット絶縁体に流入させる強誘電体膜と、該強誘電体膜上に配置されて前記強誘電体膜に一

定の電圧を印加するゲート電極と、前記モット絶縁体の第1表面と電気的に接続されるように形成されたソース電極と、前記モット絶縁体の第2表面と電気的に接続されるように形成されたドレーン電極とを備えることを特徴とする。

【0011】前記基板は、 SrTiO_3 基板であることが望ましい。また、前記モット絶縁体は、 LaTiO_3 、 YTiO_3 、または h-BaTiO_3 物質よりなることが望ましい。また、前記強誘電体膜は、 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 物質よりなることが望ましい。さらに、前記ソ

ース電極及び前記ドレーン電極は、前記強誘電体膜によって互いに分離されることが望ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。しかしながら、本発明の実施形態を各種の形態に変形でき、本発明の範囲が後述する実施形態によって限定されることはない。

【0013】まず、本発明に係る電界効果トランジスタの動作原理について説明する。図1(a)、(b)は、一定の条件下で急激な金属-絶縁体相転移現象を示すモ

ット絶縁体の内部の原子配置を示した図である。

【0014】まず、図1(a)に示されたように、ある原子に2つの電子が存在し、それら電子間に作用する反発クーロン相互作用の強度 U が電子間の最大クーロンエネルギー U_c と同一になれば、すなわち、 $U/U_c = k = 1$ になれば、その原子に2つの電子が存在できず、そのうち一つの電子は隣の原子へと移動しつつ束縛される。このように束縛されて金属的な電子構造を有する絶縁体をモット絶縁体100と呼ぶ。

【0015】このようなモット絶縁体100に極めて低濃度のホールが添加されれば、モット絶縁体100は、クーロン相互作用が弱くなって金属に急激に相転移されて金属相及び絶縁相を合わせ持つ不均一な金属的システムに変わる。このように、急激な相転移現象は、“Hyun-Tak Kim, Physica C 341-348, 259 (2000)”に開示されている。ここで、不均一な金属的システムになる理由は、ホールの添加によって電子の数が原子の数よりも少なくなるからである。

【0016】この場合、図1(b)に示されたように、クーロン相互作用の強度 U が最大クーロンエネルギー U_c よりも弱くなり、すなわち、 $U/U_c = k < 1$ になり、これによりモット絶縁体100は局所的にブリンクマン-ライスの強相関金属理論を従う強相関金属(図1(b)のMにて表示)になる。ブリンクマン-ライスの強相関金属理論は、“W. F. Brinkman, T. M. Rice, Phys. Rev. B2, 4302 (1970)”に開示されている。

【0017】このような強相関金属は、1つの原子につき1つの電子を有する電子構造、すなわち、sエネルギー

帯に1つの電子が満たされた金属的電子構造及び電子のキャリアを有する。このような現象を理論的により詳細に説明すれば、以下の通りである。

【0018】図1(b)の金属領域Mにおいて、キャリアの有効質量 m^*/m は、以下の式(2)のように表わされる。

【0019】

【数2】

$$\frac{m^*}{m} = \frac{1}{1-k^2} \quad \dots (2)$$

【0020】この場合、 $k < 1$ を満足し、 $k = 1$ 近くのある値と $k = 1$ との間で急激な金属-絶縁体相転移が起こる。このような理論式は、“W. F. Brinkman, T. M. Rice, Phys. Rev. B2, 4302 (1970)”に開示されている。また、強相関についての最初の理論は、“N. F. Mott, Metal-Insulator Transition, Chapter 3, (Taylor & Francis, 2nd edition, 1990)”により導き出された。

【0021】一方、図1Bの全体的な金属的システムにおけるキャリアの有効質量 m^*/m は、以下の式(3)のように表わされる。

【0022】

【数3】

$$\frac{m^*}{m} = \frac{1}{1-k^2\rho^4} \quad \dots (3)$$

【0023】ここで、 ρ は伝導帯充填因子であって、原子の数に対する電子(またはキャリア)の数の割合で表わせる。この場合、 $k = 1$ の時、 $\rho = 1$ 近くのある値で $\rho = 1$ に急激な転移が起こり、このような理論は前述した“Hyun-Tak Kim, Physica C 341-348, 259 (2000)”に開示されている。

【0024】例えば、物質 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ (SLTO)の場合、 SrTiO_3 (STO)モット絶縁体の Sr^{2+} を La^{3+} に置換することは電子をドーピングする場合であり、逆に、 LaTiO_3 (LTO)モット絶縁体の La^{3+} を Sr^{2+} に置換することはホールをドーピングする場合である。

【0025】図2は、 LaTiO_3 (LTO)モット絶縁体に添加される Sr^{2+} ホールの割合、すなわち伝導帯充填因子値 ρ による有効質量 m^*/m をグラフに示した図である。

【0026】図2に示されたように、 $k = 1$ の場合、 $\rho = 1$ から $\rho = 0.95$ まで、すなわち、 LaTiO_3 (LTO)モット絶縁体に添加される Sr^{2+} ホールが5%になるまで、キャリアの有効質量が最も大きい金属

からモット絶縁体に急激に相転移（グラフ中、矢印にて表示）することが分かる。

【0027】この時、 $\rho=0.95$ に対応する電子量 N_c は、約 $1.7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ であることが実験的に観察され、この実験結果は、"Y. Tokura, Y. Taguchi, Y. Okada, Y. Fujishima, T. Arima, K. Kumagi, and Y. Iye, Phys. Rev. Lett. 70, 2126 (1993)" 及び "K. Kumagai, T. Suzuki, Y. Taguchi, Y. Okada, Y. Fujishima, and Y. Tokura, Phys. Rev. B 48, 7636 (1993)" に開示されている。

【0028】一方、 $\rho=0.95$ 以下、すなわち La^{+3} の電子添加量が減ったり、あるいは Sr^{+2} のホール添加量が5%以上に増えたりする場合には、キャリアの減少による連続的な金属-絶縁体相転移現象が起こる。

【0029】図3は、 LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体に添加される Sr^{+2} ホールの割合、すなわち伝導帯充填因子 ρ による電気伝導度 σ をグラフに示した図である。図3において、 σ_m は金属における臨界電気伝導度を表わす。

【0030】図3に示されたように、 $k=1$ の場合、 $\rho=1$ から $\rho=0.95$ まで、すなわち、 LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体に添加される Sr^{+2} ホールが5%になるまで電気伝導度が急激に上がって $\rho=0.95$ で最大の電気伝導度が得られるということが実験的に観察され、この実験結果は、前述した"Y. Tokura, Y. Taguchi, Y. Okada, Y. Fujishima, T. Arima, K. Kumagi, and Y. Iye, Phys. Rev. Lett. 70, 2126 (1993)" 及び "K. Kumagai, T. Suzuki, Y. Taguchi, Y. Okada, Y. Fujishima, and Y. Tokura, Phys. Rev. B 48, 7636 (1993)" に開示されている。

【0031】図2及び図3の実験結果から、 SrTiO_3 (STO) モット絶縁体に電子を添加するよりも、 LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体にホールを添加することによって最大電気伝導度がより効率良く得られるということが分かる。

【0032】図4は、本発明に係る急激な金属-絶縁体相転移を利用した電界効果トランジスタを示した断面図である。図4を参照すれば、 SrTiO_3 (STO) 基板400上に LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体410が配置される。モット絶縁体410は YTiO_3 モット絶縁体または h-BaTiO_3 モット絶縁体でありうる。モット絶縁体410の一部の表面上には、ゲート絶縁膜として誘電率が200以上である強誘電体、例え

ば、 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ (BSTO) 強誘電体膜420が形成される。この $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ (BSTO) 強誘電体膜420は、一定の電圧が印加されるとき、モット絶縁体410に充電ホールを流入させてモット絶縁体410に急激な金属-絶縁体相転移現象を生じ、これにより導電チャンネル415が形成される。

【0033】強誘電体膜420上には、強誘電体膜420に一定の電圧を印加するためのゲート電極430が形成される。また、モット絶縁体410の第1表面上にはソース電極440が形成され、モット絶縁体410の第2表面上には、ドレーン電極450が形成される。ソース電極440及びドレーン電極450は強誘電体膜420によって互いに分離される。

【0034】このような電界効果トランジスタの動作過程について説明すれば、以下の通りである。ソース電極440及びドレーン電極450に一定の電圧を印加して LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体410の表面に一定のポテンシャルを生じる。次に、ゲート電極430にゲート電圧を印加して $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ (BSTO) 強誘電体膜420から低濃度の Sr^{+2} 充電ホールをモット絶縁体410に注入させる。充電ホールが注入された LaTiO_3 (LTO) モット絶縁体410には急激な金属-絶縁体相転移が起こり、その結果、導電チャンネル415が形成される。また、この導電チャンネル415を通じてソース電極440とドレーン電極450との間に電流が流れる。

【0035】充電ホールの濃度が5%である時、すなわち、 $\rho=0.95$ の時に、急激な金属-絶縁体相転移によって金属領域に形成される電子数は、約 $4 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ になるが、この電子数は、通常のMOSFETのチャンネルに存在する電子数（約 $10^{12} / \text{cm}^2$ ）の約100倍以上であるため、高い電流増幅を得ることができる。

【0036】場合によっては、モット絶縁体410に充電電子を注入することもある。しかし、充電ホールの代わりに充電電子を注入する場合、電力消費が増えるという短所がある。すなわち、低濃度である $\rho=0.95$ に対応する静電ホール電荷の数 N_{charge} は、ゲート電圧 V_g が0.12Vであり、強誘電体膜420の誘電率 ϵ が200であり、そして強誘電体膜420の膜厚 d が50nmである場合に約 $4 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ になる。

【0037】すなわち、 $N_{\text{charge}} = V_g \epsilon / ed$ である。従って、ホール濃度 N_{hole} も同様に約 $4 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ とし、他の変数、すなわち強誘電体膜420の誘電率 ϵ 及び膜厚 d をトランジスタの製造条件に合わせて適宜に変えればゲート電圧 V_g を十分に小さくでき、その結果、電力消費を省ける。

【0038】しかし、高濃度 $\rho=0.95$ に対応する静電電子をモット絶縁体410に注入する場合には、電子の数 $N_{\text{electrons}}$ がホールの数 N_{hole} よりも大きいために

強誘電体膜420の誘電率 ϵ 及び膜厚 d を適宜に変えてもホールを注入する場合よりもゲート電圧 V_g が大きくなってしまふ。

【0039】従って、低濃度のホールを注入する場合よりも電力消費が多い。この明細書では、本発明に係るトランジスタをモットまたはモットーハバード(MH)電界効果トランジスタと区別するために、モットーブリックマン-ライス-キム(MBRK)トランジスタと名づける。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、第一に、空乏層が存在しないことからチャンネル長に制限がなくなり、その結果、素子の集積度及びスイッチング速度を大幅に向上できる。

【0041】また、第二に、ゲート絶縁膜として適切に高い誘電率を有する強誘電体膜を使用することから、膜厚を大きく薄くしなくても低電圧下で適切なドーピング用ホールを得ることができる。

【0042】さらに、第三に、低濃度のホールをモット絶縁体に注入して急激なモットー絶縁体相転移を引き起こすことから、高い電流利得及び低い電力消費を得ることができる。

*【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電界効果トランジスタの動作原理について説明するための図で、(a)、(b)は、一定の条件下で急激な金属-絶縁体相転移現象を示すモット絶縁体の内部の原子配置を示した図である。

【図2】LaTiO₃、(LTO)モット絶縁体に添加されるSr²⁺ホールの割合、すなわち、伝導帯充填因子値 ρ による有効質量 m^*/m をグラフ示した図である。

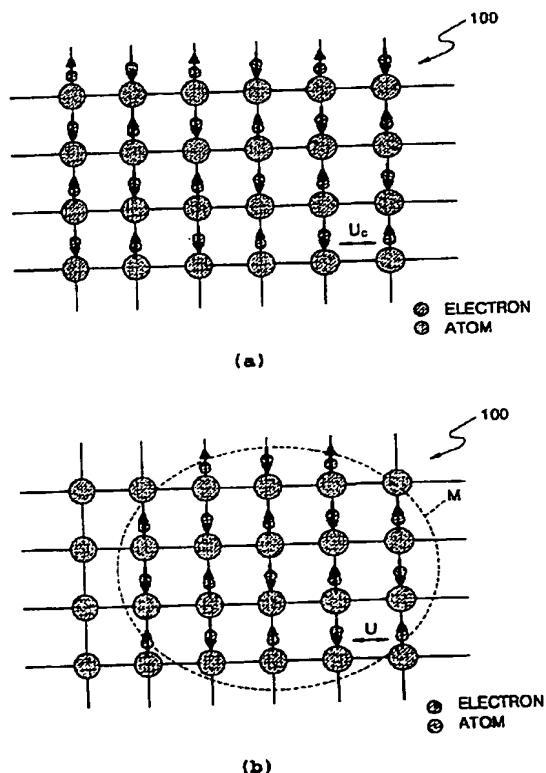
10 【図3】LaTiO₃、(LTO)モット絶縁体に添加されるSr²⁺ホールの割合、すなわち、伝導帯充填因子値 ρ による電気伝導度 σ をグラフ示した図である。

【図4】本発明に係る電界効果トランジスタを示した断面図である。

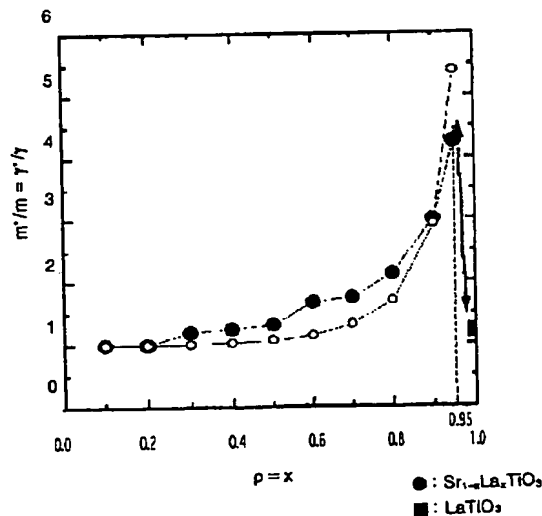
【符号の説明】

- 100 モット絶縁体
- 400 基板
- 410 モット絶縁体
- 415 導電チャンネル
- 420 強誘電膜
- 430 ゲート電極
- 440 ソース電極
- 450 ドレイン電極

【図1】

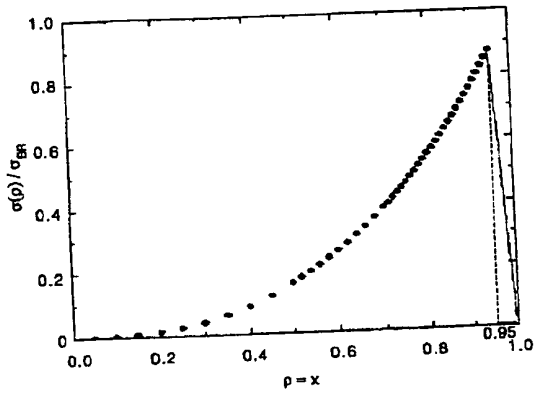


【図2】

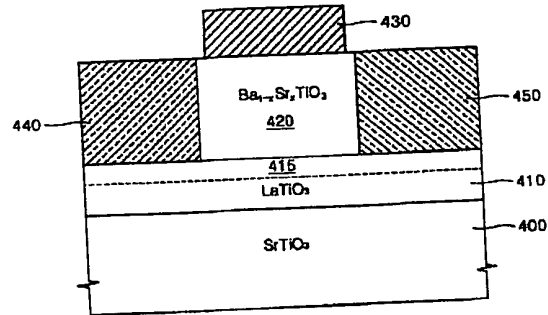


(6)

【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

識別記号

F I
H 0 1 L 29/78

テーマコード (参考)
3 0 1 J

(72)発明者 カン クンヨン
大韓民国 デジョン ユソング シンスン
ドン サムスンハンウル アpartment
110-802

F ターム (参考) 5F110 AA01 AA04 AA07 AA09 BB13
CC01 DD01 FF01 GG01
5F140 AA01 AA02 AA39 AC16 BA00
BD13